

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky



Srovnání výhod a nevýhod jednotlivých druhů termického  
zpracování odpadů

Comparation Various Type of Thermal Waste Conversion

Student: Martina Hůblová

Vedoucí práce: prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.

Ostrava 2009

#### Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 31.4.2009

.....

Martina Hůblová

## Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě: 31.4.2009

.....

Martina Hůblová

Adresa trvalého pobytu studenta

Martina Hůblová

Družstevní 272

789 73 Úsov

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala paní prof. Ing. Dagmar Juchelkové, Ph.D. za odborné rady a vedení při vypracování této bakalářské práce.

Martina Hůblová

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HÚBLOVÁ, M. *Srovnání výhod a nevýhod jednotlivých druhů termického zpracování odpadů*. Ostrava: Katedra energetiky, Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 40 s. Bakalářská práce, vedoucí: Juchelková, D.

Bakalářská práce se zabývá srovnáním výhod a nevýhod jednotlivých druhů termického zpracování odpadů. Bakalářská práce je rozdělena obecně do tří částí. První část se zabývá termickým zpracováním odpadů v Evropě včetně České republiky a problematikou komunálního odpadu. V druhé části jsou popsány jednotlivé druhy termického zpracování odpadů a výhody a nevýhody těchto metod. Třetí část je věnována vyhodnocení výhod a nevýhod termických metod zpracování odpadů.

## ANOTACION OF BACHELOR THESIS

HÚBLOVÁ, M. *Comparison various type of thermal waste conversion*. Ostrava: Department of Power Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB - Technical University of Ostrava, 2009, 40 p. Bachelor thesis, head: Juchelková, D.

The bachelor thesis deals with comparison various type of thermal waste conversion. The bachelor thesis divides commonly in three parts. The first part engages in thermal waste conversion in Europe inclusive of the Czech Republic and problems municipal waste. In the second part are described various type of thermal waste conversion and advantages and disadvantages these methods. The third part is dedicated evaluation of advantages and disadvantages thermal methods waste conversion.

**Obsah**

<b>Seznam použitých symbolů .....</b>	<b>6</b>
<b>Seznam použitých zkratk.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2. Termické zpracování odpadů v České republice a Evropě .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Odpady .....</b>	<b>11</b>
3.1. Co je to odpad?.....	11
3.2. Komunální odpad.....	12
3.3. Alternativní palivo vyrobené z komunálního odpadu .....	13
3.4. Energetické využívání komunálního odpadu .....	14
<b>4. Termické metody zpracování odpadu .....</b>	<b>16</b>
4.1. Spalování odpadů .....	16
4.1.1. Odpady vhodné pro spalování .....	17
4.1.2. Popis spalovacího procesu .....	17
4.1.3. Zařízení určené ke spalování.....	18
4.1.4. Druhy spalovacích pecí a topenišť .....	19
4.1.5. Výhody a nevýhody spalování odpadů .....	23
4.2. Pyrolýza odpadů.....	24
4.2.1. Odpady vhodné pro pyrolýzu .....	25
4.2.2. Princip pyrolýzy odpadů .....	25
4.2.3. Pyrolýzní technologie .....	26
4.2.4. Výhody a nevýhody pyrolýzy odpadů .....	26
4.3. Zplyňování odpadů .....	27
4.3.1. Odpady vhodné ke zplyňování .....	27
4.3.2. Princip zplyňování odpadů.....	27
4.3.3. Zplyňovací technologie .....	28
4.3.4. Výhody a nevýhody zplyňování odpadů.....	29
4.4. Zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých metod .....	29
<b>5. Výpočet základních spalovacích výpočtů komunálního odpadu .....</b>	<b>30</b>
5.1. Výpočet pro komunální odpad o složení č. 1 .....	31
5.2. Výpočet pro komunální odpad o složení č. 2 .....	33
5.3. Výpočet pro komunální odpad o složení č. 3 .....	35
5.4. Zhodnocení výpočtů .....	36
<b>6. Závěr .....</b>	<b>38</b>
<b>7. Použitá literatura .....</b>	<b>39</b>

**Seznam použitých symbolů**

$m$	[kg]	hmotnost
$Q_i^r$	[MJ/kg]	výhřevnost surového odpadu
$t$	[°C]	teplota obyčejná
$Q$	[kWh]	spotřeba tepla či elektrické energie
$\dot{m}$	[kg/hod]	hmotnostní tok spalovacího zařízení
$n$	[1]	součinitel přebytku vzduchu
$v$	[1]	součinitel zvětšení objemu spalin vzdušnou vlhkostí přivedením spalovacího vzduchu
$V_{O_2,t}$	[m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kg]	množství O <sub>2</sub> teoretický
$V_{VZ,t}^S$	[m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kg]	množství vzduchu teoretického suchého
$V_{VZ,SK}^S$	[m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kg]	množství vzduchu skutečného suchého
$V_{VZ,SK}^V$	[m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kg]	množství vzduchu skutečného vlhkého
$V_{SP,t}^S$	[m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kg]	množství spalin teoretických suchých
$V_{SP,SK}^S$	[m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kg]	množství spalin skutečných suchých
$V_{H_2O}$	[m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kg]	množství vodní páry ve spalinách
$V_{SP,SK}^V$	[m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kg]	množství spalin skutečných vlhkých
$\dot{V}_{SP,ODPAD}$	[m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /hod]	množství spalin odpadu při daném $\dot{m}$
$\dot{V}_{VZ,ODPAD}$	[m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /hod]	množství vzduchu odpadu při daném $\dot{m}$
$\dot{V}_{SP1}$	[m <sup>3</sup> /s]	skutečné množství spalin v rotační peci při dané teplotě
$\dot{V}_{SP2}$	[m <sup>3</sup> /s]	skutečné množství spalin v dohořívací komoře při dané teplotě

$P$	[W]	výkon
$c_s$	[kJ]/kg · K	měrná tepelná kapacita strusky
$c_{sp}$	[kJ]/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> · K	měrná tepelná kapacita spalin
$\dot{m}_s$	[kg/hod]	množství strusky
$\dot{Q}$	[W]	tepelný tok

### **Seznam použitých zkratk**

TOC	celkový organický uhlík
PCB	polychlorované bifenyly
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PCDD	polychlorované dibenzo-p-dioxiny
PCDF	polychlorované dibenzo-furany
POPs	persistentní organické látky
EU	Evropská Unie
SRN	Spolková republika Německo
PET	polyetylentereftalát



## 1. Úvod

Odpad. Slovo, o kterém se v současné době hodně hovoří a se kterým souvisí řada otázek a problémů.

Termické zpracování odpadu je velmi zajímavý a odsuzovaný proces v poslední době. Dá se říci, že můžeme rozdělit obyvatele na odpůrce a zastánce těchto metod. Je velmi těžké posoudit, zda by se měl či neměl odpad termicky zpracovávat. Existuje důvody proč ano ale i proč ne. Mezi největší klady patří redukce objemu odpadu, zneškodňování velmi nebezpečných odpadů a v poslední době je to využití energie ze spalování odpadů jak pro vytvoření tepla nebo elektrické energie. Ale i přes tyto klady má termické zpracování odpadů řadu odpůrců, kterým vadí hlavně vyprodukované škodliviny a s tím spojené ničení životního prostředí. Meze hlavní škodlivinu řadíme CO<sub>2</sub>, která způsobuje skleníkový efekt a ze skleníkovým efektem je pak spojené oteplování Země. Dalším velkým problémem je pak produkce dalších plynných produktů jako například prachu, kyselých složek spalin, NO<sub>x</sub> a především těžkých kovů, které mají velmi špatný vliv na naše zdraví a způsobují velmi závažné choroby.

Počet obyvatel rok od roku stoupá a s tím i výroba a spotřeba výrobků a samozřejmě i množství odpadu všude kolem nás. Tento odpad se proto musí nějakým způsobem uložit či zpracovat. A to různými způsoby. Odpad můžeme skládkovat, kompostovat, různě biologicky zpracovávat či spalovat. Já se ve své bakalářské práci budu zabývat možnostmi termického zpracování odpadu. Mezi termické zpracování odpadů patří spalování, zplyňování a pyrolýza. Každá z těchto metod má své nevýhody a výhody, které ve své bakalářské práci následně srovnám.

## 2. Termické zpracování odpadů v České republice a Evropě

Každý průměrný člověk Evropy vyprodukuje 443 kg odpadů ročně. Toto číslo se mění podle toho, jak je určitá země vyspělá. Před třemi léty bylo podle statistik 49 % odpadů Evropské unie uloženo na skládku, 18 % spáleno, 27 % zrecyklováno nebo zkompostováno a 6 % bylo zpracováno jiným způsobem. Tyto čísla by se podle nové směrnice Evropské unie změnit k lepšímu. Odpad bude považován za doplňkový energetický zdroj, což by mělo přispět ke snížení jeho množství a omezit i rizika úniků skleníkových plynů ze skládek, jak uvedla Rada ministrů životního prostředí sedmadvacítky. Možnost ukládání odpadů na skládku bude odsunuta až na poslední místo. Skládkování bude předcházet recyklace či spálení za účelem výroby elektrické energie. Energeticky účinné spalování odpadů je tak definováno jako jejich opětovné využití a mělo by vést ke snížení spotřeby fosilních paliv.

Jednou ze zemí s nejvyspělejším systémem odpadového hospodářství je Švýcarsko. Teprve v roce 2016 dosáhnou členské státy EU cca 65 % výkonnosti dnešního švýcarského odpadového hospodářství. Česká republika tohoto stavu dosáhne cca v roce 2020. Ve Švýcarsku platí Technické nařízení o odpadech z roku 1990, kde se na odpady nahlíží úplně jiným způsobem, než je tomu u nás. Například je povinností látkově využívat odpad, odpad spalovat (jednotlivé kantony zodpovídají za to, že nevyužitelné, spalitelné odpady budou ve vhodných zařízeních spáleny) a provozovat spalovny s využitím energie. Od roku 2000 je pak zakázáno skládkování komunálního odpadu, to znamená, že je energeticky využíváno 100 % spalitelného komunálního odpadu a spalitelných stavebních odpadů v 31 existujících zařízeních (obr. 2.1).



Obr. 2.1 Mapka Švýcarska se zakreslením zařízení na energetické využití odpadů [9]

Stejná situace jako ve Švýcarsku (zákaz skládkování neupraveného komunálního odpadu), je také v SRN, kde se nachází ve výstavbě nebo ve fázi plánování několik nových projektů spaloven komunálního odpadu. V roce 1999 bylo energeticky využito 13 milionů tun odpadu v 57 tehdy existujících spalovnách. Do roku 2003 se tento počet zvýšil na 65 zařízení, kde bylo spáleno 17,4 milionů tun odpadu a do konce roku 2010 by mělo být v provozu přes 70 zařízení s celkovou kapacitou 19 milionů tun odpadu.

A jaká je situace v České republice? Spalování je na rozdíl skládkování dražší metoda zneškodňování odpadů, a proto je tímto způsobem zpracováváno mále procento celkové produkce odpadu (obr. 2.2). V České republice je především spalován odpad z nemocnic, z chemické výroby, odpad s vysokým energetickým obsahem a také odpad komunální.

	Odpady celkem			
	2000	2004	2005	2006
<b>Celková produkce odpadů (1000 t/rok)</b>	<b>40609</b>	<b>38750</b>	<b>29802</b>	<b>28066</b>
<b>Podíl odpadů odtraněných skládkováním (%)</b>	<b>25,6</b>	<b>16,5</b>	<b>17,9</b>	<b>18,1</b>
<b>Podíl odpadů odtraněných spalováním (%)</b>	<b>1,78</b>	<b>0,19</b>	<b>0,28</b>	<b>0,38</b>

Obr. 2.2 Podíl odstraňování odpadů v ČR v letech 2004-2006 [13]

U nás existují tři spalovny komunálního odpadu. Tyto spalovny jsou postaveny v místech s vysokým počtem obyvatel a jsou to spalovna v Brně (obr. 2.3), Praze Malešicích a Liberci. Největší je spalovna v Praze, která má kapacitu 310 kt odpadů ročně. Spalovna v Brně může pak ročně spálit kolem 240 kt ročně a spalovna v Liberci pak 96 kt ročně. Ve spalovnách nebezpečného odpadů se spaluje jak nebezpečný odpad, tak odpad ze zdravotnictví. V roce 2001 existovalo 67 spaloven nebezpečného odpadu a v roce 2003 pak jen 45 spaloven. Tento počet se snižoval kvůli nevyhovujícím požadavkům zákona o ovzduší. Nyní v České republice existuje k roku 2008 29 spaloven nebezpečných odpadů, ale řada z nich nenaplnuje svou kapacitu. Mezi největší spalovny nebezpečných odpadů patří spalovna v Ostravě, Prostějově, Ústí nad Labem či Zlíně.

Další důležitou součástí v oblasti spalování odpadů je spalování v cementářských a vápenických rotačních pecích. Toto spalování je velmi výhodné, protože nevzniká žádný další odpad po spálení a produkce emisí plyných i tuhých škodlivin je menší. V České republice se nejčastěji v cementárnách a vápenkách spalují pneumatiky, odpadní surový benzín, masokostní moučka, plastový odpad, čistírenské odpadní kaly,

pryž, odpadní ředidla, odpadní olej a alternativní palivo vyrobené z komunálního odpadu. Toto spalování nemá však ještě v České republice vybudovanou tradici a takto se spalují odpady jen v omezeném množství. Nyní jsou v České republice v provozu pouze čtyři cementárny, ve kterých se spaluje.



Obr. 2.3 Spalovna v Brně [8]

Spalovny jsou významné i v oblasti výroby elektrické energie. Ze současných tří spaloven komunálního odpadu je ve dvou vyráběna elektrická energie. Do roku 2010 se nepočítá s tím, že by se produkce elektrické energie měla nějakým způsobem zvýšit. Ale ze zprávy o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů za rok 2006 plyne, že existuje několik dlouhodobých projektových záměrů na výstavbu zařízení na energetické využití odpadů. Jestliže by došlo k realizaci těchto projektů, mohlo by se množství energeticky využitých odpadů do budoucna ztrojnásobit s odpovídajícím přínosem i ve výrobě elektřiny.

### **3. Odpady**

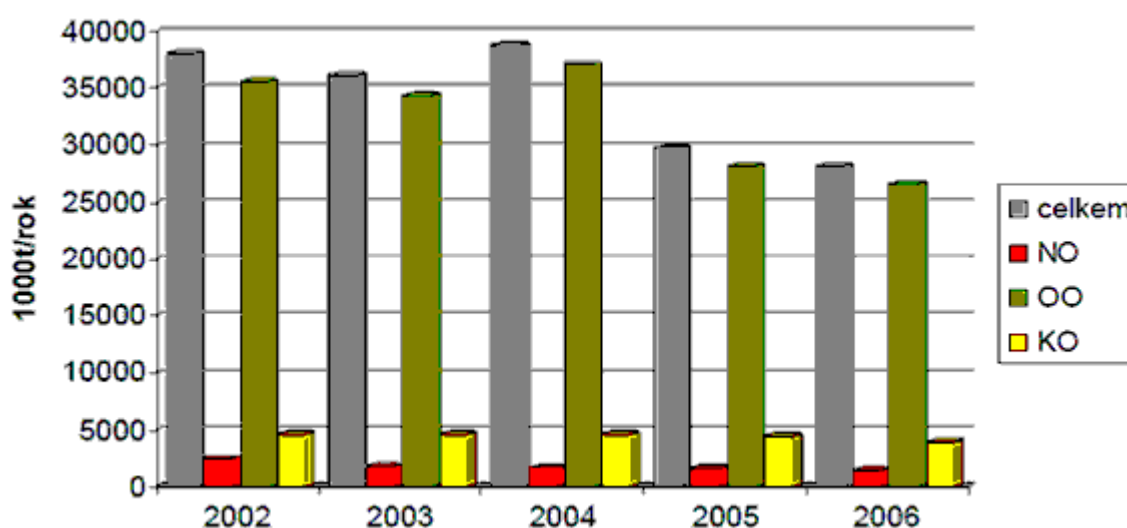
#### **3.1. Co je to odpad?**

Opad je podle zákona č.185/2001 Sb. definován jako každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se zbavit. Je to velmi různorodý materiál, který má různé vlastnosti, je odlišného skupenství či tvaru a vzniká na různých místech a různými způsoby. Nejčastěji odpady oficiálně dělíme na druhy podle katalogu odpadů. Zde se odpad rozděluje podle původu a vlastností na 5 nadskupin, 25 skupin, 83 podskupin a 709 druhů odpadů. Vedle oficiálního dělení můžeme odpady dělit neoficiálně podle různých kritérií na:

- a) Odpady, které působí na člověka a životní prostředí či nikoli. Tyto odpady se dělí na nebezpečné a ostatní. Nebezpečný odpad je podle zákona, takový odpad, který má jednu nebo více nebezpečných vlastností. Mezi nebezpečné vlastnosti například patří výbušnost, vysoká hořlavost, dráždivost, toxicita, žíravost či infekčnost.
- b) Odpady rozdělené podle skupenství na plynné, kapalné, pevné a směsné.
- c) Odpady, které se dělí podle toho, jakou hospodářskou činností vznikají. Tak můžeme odpady dělit na odpady vznikající průmyslovou, stavební či zemědělskou činností a na odpady komunální.
- d) Odpady, které můžeme v budoucnu opětovně využít (využitelné a nevyužitelné).

### 3.2. Komunální odpad

Nejvíce vnímaným odpadem pro obvyčejného člověka je odpad komunální. Každý občan České republiky vyprodukuje průměrně 400 kg odpadu ročně. K roku 2006 bylo v České republice vyprodukováno 3979 tis. tun komunálního odpadu. Jestliže bychom toto množství porovnali s ostatními hospodářsky vyspělými státy Evropy, dojdeme k závěru, že množství komunálních odpadů poroste. 3973 tis. tun komunálního odpadu pak z celkového množství odpadu vznikající na území České republiky představuje pouhých 15 % (obr. 3.1). Těchto 15 % je pak ve většině případů u nás skládkováno a jen malé procento je energeticky využíváno (obr. 3.2).



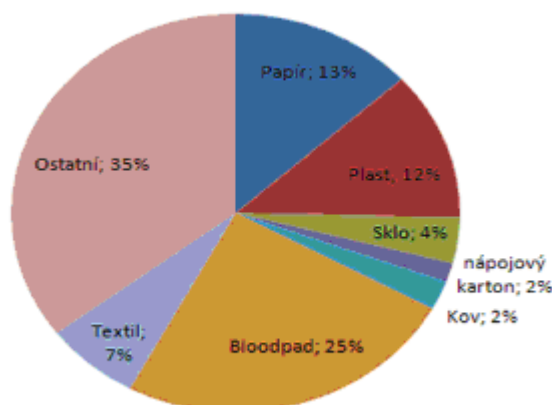
NO – nebezpečný odpad, OO – ostatní odpad, KO – komunální odpad

Obr. 3.1 Celková produkce odpadů v České republice [13]

	Komunální odpady			
	2000	2004	2005	2006
<b>Celková produkce komunálních odpadů (1000 t/rok)</b>	4258	4652	4439	3979
<b>Podíl odpadů odtraněných skládkováním (%)</b>	60,3	64,4	69,3	81
<b>Podíl odpadů odtraněných spalováním (%)</b>	7,96	0,05	0,04	0,05

Obr. 3.2 Podíl odstraňování komunálních odpadů v ČR v letech 2000 – 2006 [13]

A co to vlastně komunální odpad je? Dá se říci, že jde o nehomogenní směs mnoha látek a věcí, které pro nás ztratily svůj původní význam. Podle zákona č.185/2001 sb. je komunální odpad veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob. Komunální odpad je velmi různorodá směs materiálů obsahující odpady různých velikostí a tvarů, jejichž chemické a fyzikální vlastnosti jsou odlišné (obr. 3.3). Složení odpadů záleží hlavně na druhu zástavby obcí, způsobu vytápění, životním stylu obyvatel atd. V posledních letech se mění složení komunálního odpadu a to díky tomu, že se mění vytápění domů, mění se způsob života, používá se více polotovarů a PET láhví.



Obr. 3.3 Složení komunálního odpadu z domácností z roku 2007 [9]

### 3.3. Alternativní palivo vyrobené z komunálního odpadu

Složky komunálního odpadu jako je papír, plast, dřevo a textil, které jsou tříděny a upravovány, slouží pro výrobu certifikovaného paliva, jehož výhřevnost se pohybuje v rozmezí 20 – 22 MJ/kg. Pro toto certifikované palivo se vžilo několik různých názvů jako například tuhá topná směs (TTS), tuhé alternativní palivo (TAP) nebo různé obchodní názvy od různých výrobců (Kormul, Palozo apod.). Alternativní palivo se používá od 90. let minulého století a z části tak nahrazuje primární paliva. Toto palivo slouží jako náhradní palivo používané v cementárnách, teplárnách či hutnictví.

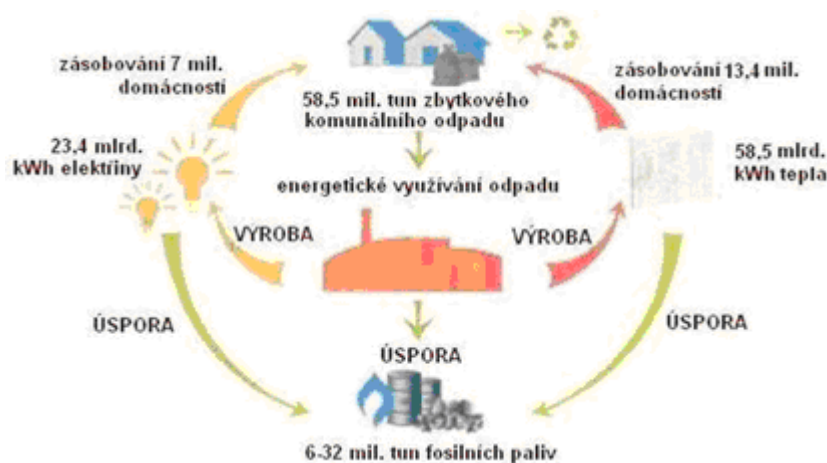
Alternativní palivo vyrobené z komunálního odpadu se vyrábí z odpadů vyskytující se ve velkém množství. V České republice se alternativní palivo získává především z odpadů průmyslové výroby a odpadů získaných organizovaným sběrem obcí.

### 3.4. Energetické využívání komunálního odpadu

Energetické využívání komunálního odpadu je podle zákona o odpadech spálení odpadů, které hoří sami bez pomoci podpůrných paliv (nepočítá se sem krátké stádium zapálení). Dále je pak kladena další podmínka, a to, že vznikající teplo se musí používat pro potřebu vlastní nebo dalších osob. Jestliže je pak teplo využito a odpady hoří sami, pak můžeme mluvit o energetickém využívání odpadů.

V průběhu roku 2006 byla v Evropské unii vyrobena energie z 59 mil. tun odpadu, proto nebylo spáleno zhruba 6 až 32 mil. tun fosilních paliv (množství závisí na tom, jaký druh paliva nahrazujeme (plyn, ropa, uhlí)).

Podle údajů CEWEP (Konfederace evropských zařízení pro energetické využívání odpadů) za rok 2006 vyrobila zařízení na energetické využívání odpadů v Evropě přes 23 mld. kWh elektrické energie a přes 58 mld. kWh tepla. Toto množství stačí pro zásobování 7 mil. domácností elektřinou a přes 13 mil. domácností teplem (obr. 3.4). [9]



Obr. 3.4 Cyklus energetického využívání odpadů [9]

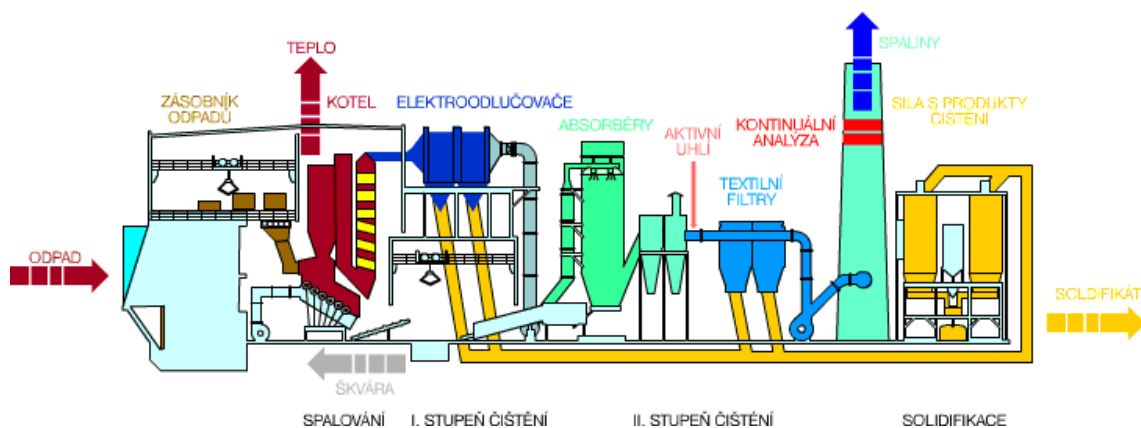
Jak už bylo řečeno komunální odpad je různorodý materiál a občas obsahuje celou řadu nebezpečných látek, proto není možné komunální odpad spalovat klasickým způsobem, ale jeho spalování musí probíhat při vyšších teplotách, při kterých se



nebezpečné látky zničí. Pro tyto účely existují spalovny komunálního odpadu, které jsou vybaveny odpovídajícím zařízením (obr. 3.5).

Obecně je spalovna vybavena:

- zařízením pro příjem odpadu, skladování a předzpracování odpadu na místě
  - spalovací linkou
  - systémem přívodu odpadu, paliva a vzduchu
  - kotlem
  - zařízením k čištění odpadních plynů
  - komínem
  - místním zařízením pro skladování tuhých zbytků a vod
  - zařízeními a systémy pro řízení spalovacího procesu a pro monitorovací zařízení
- [14]



Obr. 3.5 Schéma spalovny komunálního odpadu Sako Brno [12]

Do spalovny vstupuje kromě odpadu řada dalších médií, která jsou pro provoz neméně důležité. Těmito médii se myslí: zemní plyn (najížděcí, odstavovací a stabilizační médium), vzduch, voda (teplonosné médium) a dodatkové chemikálie používané pro provoz čištění spalin a čištění odpadních vod. Jestliže do spalovny vchází nějaké vstupní média, tak i nějaké výstupní média ze spalovny odcházejí. Jsou to plynné produkty (emise, vodní pára), pevné produkty (popel, popílek, struska, filtrační koláč) a procesní voda.

Protože jsou plynné produkty velmi nebezpečné látky, je důležitou součástí spalovny čištění vycházejících spalin, což je soubor několika technologií, umožňující odstraňování škodlivin ze spalin. V prvním stupni čištění se odloučí pevný podíl ze spalin na elektrostatický odlučovač a oxidy dusíku jsou redukovány pomocí redukčních



roztoků. Posléze následuje druhý stupeň čištění, kde jsou spaliny čištěny polosuchou vápennou metodou a jsou odstraňovány těžké kovy, dioxiny, furany, PCB a PAH. Odpadní produkty z druhého stupně obsahují řadu solí a těžkých kovů, proto jsou ještě upravovány soldifikací (technologický proces úpravy odpadů, spočívající v jejich stabilizaci vhodnými přísadami, které sníží možnost vyluhování nebezpečných prvků a sloučenin z matrice odpadu). Jakmile jsou škodlivé látky ze spalin odstraněny, tak spaliny vycházejí komínem do ovzduší. Před vstupem vyčištěných spalin do komína se ještě provádí kontinuální analýza spalin, kde se zjišťuje množství vypouštěných polutantů (HCl, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, TOC, prach).

Mezi další výstupy patří při spalování komunálního odpadu i teplo. Toto teplo se ve všech existujících spalovnách komunálního odpadu využívá. Používá se k výrobě tepelné a elektrické energie. Takto vyrobenou energii lze považovat za energii vyrobenou z obnovitelných zdrojů

Po spálení komunálního odpadu, jak už bylo zmíněno, vzniká i popelovina, která je inertním materiálem s minimálním obsahem organických zbytků. V určitých případech lze tuto popelovinu po úpravě využít jako součást stavebních či rekultivačních materiálů.

#### **4. Termické metody zpracování odpadu**

Termické metody zpracování odpadů jsou technologie, při nichž dochází k působení teploty na odpad tak, že je porušena mez jeho chemické stability [4]. Tyto technologie můžeme rozdělit do dvou skupin, podle toho, jaký je obsah kyslíku v reakční komoře vůči odpadní látce.

Skupina, kde probíhají oxidativní procesy. Při těchto procesích je obsah kyslíku v reakčním kyslíku stechiometrický nebo vyšší. Mezi tyto procesy patří spalování a to buď nízkoteplotní, nebo vysokoteplotní.

Do druhé skupiny, kde probíhají reduktivní procesy, řadíme pyrolýzu a zplyňování, protože obsah kyslíku v reakčním prostoru je nulový nebo podstechiometrický.

##### **4.1. Spalování odpadů**

Je to řízená exotermická slučování hořlavých složek odpadů s kyslíkem za stechiometrických nebo nadstechiometrických podmínek [6].

#### 4.1.1. Odpady vhodné pro spalování

Spalování je vhodné k zneškodňování různých druhů odpadů: tekuté kaly, tuhé odpady, plynné odpady i pastovité odpady. Některé spalovny spalují různé druhy odpadů současně. Velké množství odpadů patří mezi méně hodnotná paliva a jejich spalování je většinou velký problém. To se týká zejména komunálního odpadu, který je různorodým materiálem s rozdílnými vlastnostmi a rozměry jednotlivých složek. Spalovací zařízení proto musí vyhovovat řadě vzájemně si odporujících požadavků. Jednou z nejdůležitějších vlastností při spalování odpadů je jejich výhřevnost. Ta se pohybuje v rozmezí 4000-10000 kJ.kg<sup>-1</sup> a pro odpady průmyslové jako je například polyethylen je to až 46000 kJ.kg<sup>-1</sup>. Jestliže výhřevnost dostatečně vysoká lze tedy odpady spalovat samostatně. Naopak při malé výhřevnosti musíme použít přídavná nebo-li stabilizační paliva (olej, plyn). Také lze špatně spalitelné odpady mísit s dobře spalitelnými v určitém poměru, což zaručuje trvalé hoření směsi. Jsou to zejména paliva, která obsahují inertní složku nebo vlhké a spékavé odpady.

Odpady, které lze spalovat můžeme rozdělit do čtyř skupin:

- komunální odpady,
- průmyslové odpady,
- čistírenské kaly,
- zvláštní odpady (nemocniční odpady a další nebezpečné odpady).

#### 4.1.2. Popis spalovacího procesu

Spalování tuhých odpadů je komplikovaný proces. Odpady jsou zahřívány po styku s horkými spalinami nebo pomocí předehrátého vzduchu a sáláním ze stěn pece. V rozmezí teplot mezi 50 – 150°C dojde k vysušení odpadu. A v oblasti vyšších teplot vznikají složitými rozkladnými procesy těkavé látky. Těkavé látky jsou hořlavé a po vznícení hoří plamenem. Zbytky odpadů se pak dále odplyňují a jejich hoření probíhá značně pomalu.

Tuhý odpad můžeme spálit bez přídavného paliva, jestliže je jeho výhřevnost minimálně 5000 kJ.kg<sup>-1</sup>.

Opad, který se spaluje, obsahuje řadu škodlivých látek, tyto látky pak ohrožují naše prostředí, proto je nutné při spalování dodržet několik podmínek:

1. Dostatečné množství spalovacího vzduchu, který se do spalovací komory přivádí se 1,5 až 2násobným přebytkem. Spalovaný odpad je totiž velmi různorodý materiál a je nutné, aby byl zajištěn přebytek kyslíku při jakýkoliv podmínkách.
2. Dostatečné množství tepla, které je potřebné k rychlému zahřátí odpadu na zápalnou teplotu. Pokud je odpad zahříván pomalu nemusí dojít ke spálení všech škodlivin, ale v době zahřívání na zápalnou teplotu, která se u odpadu pohybuje v rozmezí 250-400 °C, se odpaří a unikne do ovzduší.
3. Dostatečně vysoká teplota hoření odpadů. Saze mají zápalnou teplotu v rozmezí 700-750 °C, proto musí být teplota ve spalovací komoře neustále větší jak 800°C. Při spalování komunálního odpadu musí být teplota spalin ve spalovací komoře vyšší než 850 °C a v zařízeních určených ke spalování průmyslového odpadu musí být vždy dohořivací komora, ve které je podle druhu odpadu udržována teplota 900 až 1200 °C.
4. Dostatečně dlouhá doba, kdy spaliny zůstávají v oblasti vysokých teplot. Odpad tedy musí setrvat v dohořivací komoře po dobu dvou sekund, což je doba stanovená zákonem.

Každý spalovaný odpad ve spalovnách prochází určitým spalovacím cyklem, který má několik fází. Je to předsoušení odpadů, odplynování odpadů, zapálení odpadů, spalování odpadů, hoření, vyhořívání a odvádění tepla.

#### **4.1.3. Zařízení určené ke spalování**

V posledních letech byla zpřísněna regulační opatření týkající se ukládání odpadů na skládku, proto se zvýšil zájem o výstavbu spalovacích zařízení.

Při spalování se celá řada nebezpečných odpadních látek přemění na neškodné látky, jejichž množství je zpravidla malé.

Nyní je spalování odpadů založeno na dvou způsobech:

- spalování tuhých odpadů v zařízeních, postavená k tomuto účelu
- spalování kapalných i tuhých odpadů v rotačních cementových pecích

Spalovny pro spalování komunálního odpadu pracují při v rozmezí teplot od 800°C do 900°C ale pro zneškodnění zbytků halogenových látek je potřeba vyšších teplot v rozmezí od 1200°C do 1500°C. Naproti tomu pro spalování zvláštních zejména pak nebezpečných odpadů je nutné speciální zařízení, kde se pracuje s teplotami

v rozmezí od 900°C do 1300°C a prodleva spalin ve spalovacím prostoru musí být minimálně 3 sekundy.

Nejdůležitější charakteristiky spaloven je doba spalování, teplota spalování a účinnost promíchávání, které musí být v tak dostatečné, aby došlo k úplnému zneškodnění odpadů.

#### **4.1.4. Druhy spalovacích pecí a topenišť**

Spalovací zařízení můžeme dělit podle různých hledisek. Jedním z nejčastějších dělení spalovacích zařízení je dělení podle konstrukčního hlediska. Tak spalovací zařízení rozdělujeme na:

- **Roštové pece**

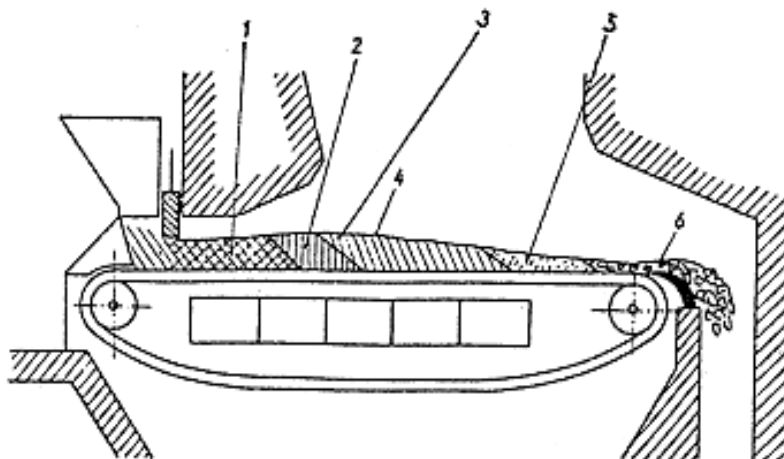
Při spalování na roštu odpad leží na děrované ploše, kudy proudí spalovací vzduch, který zároveň chladí roštnici. Rošty můžou být pevné a pohyblivé.

Pevné rošty se používají v menších zařízeních, kde se spalují pevné látky s různou zrnitostí ale, které se nespékají a dobře prohořívají. Pro spalování odpadů není toto zařízení moc vhodné, protože materiál není prohrabován a špatně vyhořívá a popel a nevyhořelé zbytky musí být ručně odstraňovány.

Naproti tomu pohyblivé rošty řeší problém s vyhořením materiálu, protože stupňovitě přivádí kyslík do spalovací komory. Pohyblivé rošty můžeme podle konstrukce rozdělit do mnoha podskupin a to jsou:

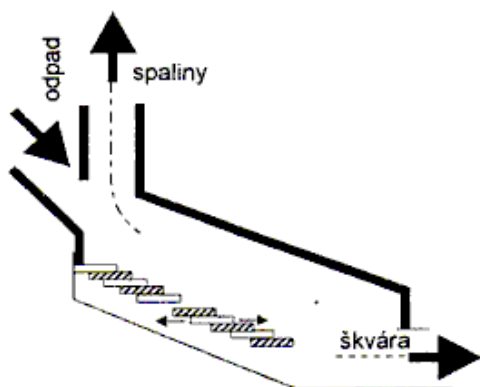
- natřásací rošty
- pásové rošty (obr. 4.1)
- posuvné rošty (obr. 4.2)
- otočné rošty
- válcové rošty (obr. 4.3)

Pro spalování komunálního odpadu se v České republice nejvíce používají válcové rošty.

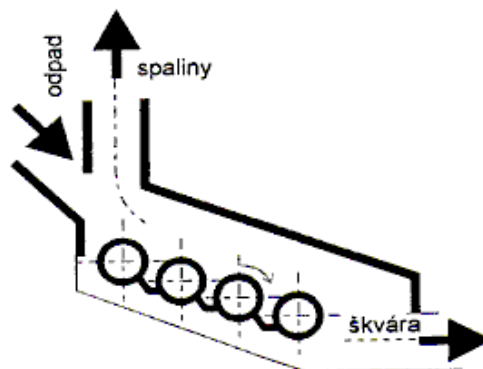


1-sušení čerstvého odpadu, 2-odplynění a vzněcování odpadu, 3-hoření tuhé hořlaviny, 4-vrstva odpadu, 5-dohořívání škváry, 6-škvára

Obr. 4.1 Spalování paliva na pásovém roštu [7]



Obr. 4.2 Posuvný rošt [7]



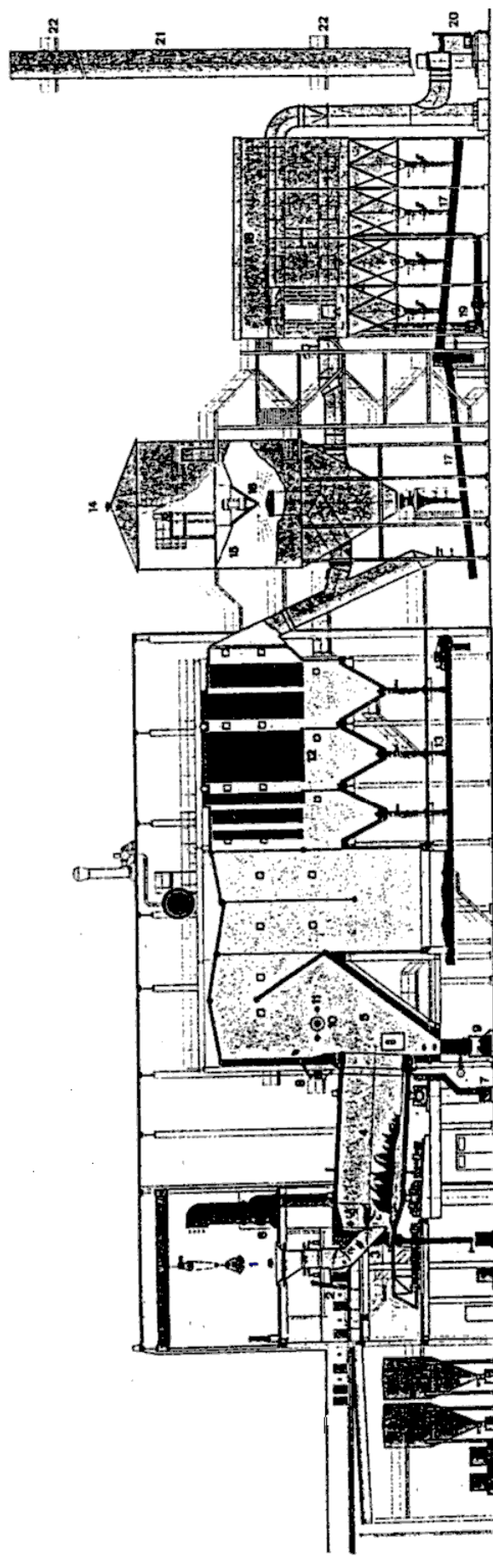
Obr. 4.3 Válcový rošt [7]

### • Rotační pece

Jsou to válcové nádoby, které jsou vyzděné a s mírným sklonem. Tyto nádoby se otáčejí a tím promíchávají odpad. Tento typ pecí je univerzální a hodí se zejména ke spalování směsí průmyslových i komunálních odpadů, pastovitých odpadů, kapalných odpadů a kalů (obr. 4.4).

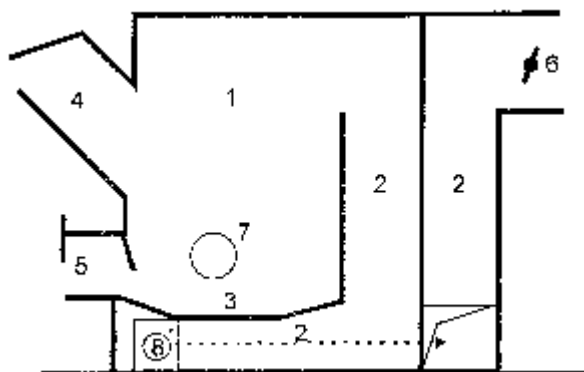
### • Muflové pece

Jsou to zařízení bez roštu, kde je odpad spalován na podlaze pece v keramické nístěji na desce nebo ve vaně (obr. 4.5). Toto zařízení se používá zejména ke spalování zdravotnických odpadů, ropných produktů, zbytků barev, laků a odpadů z plastů.



1-manipulační jeřáb, 2-přívod paliva, 3-přední stěna spalovací pece, 4-spalovací komora, 5-komora dodatečného spalování, 6-primární vzduch, 7-chlazení spalovací pece, 8-sekundární vzduch, 9-odvod zbytků, 10-hořák na odpadní olej, 11-vstříkávání odpadní vody, 12-parní kotel, 13-transport úletu z popela, 14- absorpční zařízení, 15-absorpční komora, 16-atomizér, 17-transport popílku, 18-hadiceový filtr, 19- ohřívací systém pro hadicový filtr, 20-větrák, 21-hromadění, 22-emisní kontrola

Obr. 4.4 Spalovna s rotační pecí [7]

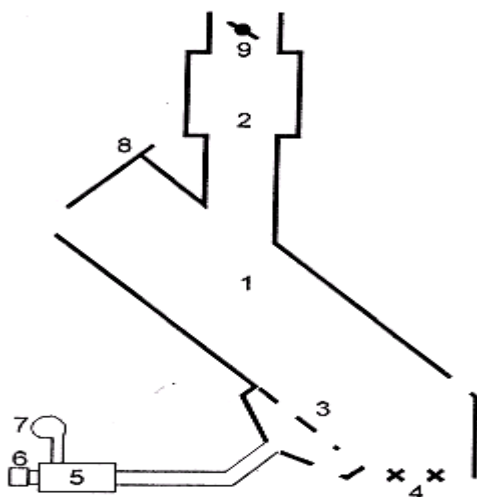


1-spalovací komora, 2-dohořivací komora,  
3-keramická deska, 4-vhazovací šachta, 5-  
popelník, 6-kouřová klapka, 7-hlavní  
hořák, 8- doplňovací hořák

Obr. 4.5 Muflová pec se spalováním  
na keramické desce [7]

#### • Šachtové pece

Šachtové spalování je odvozeno od pochodu, používaného v mnoha průmyslových a také hutnických provozech. Tyto šachtové pece existují ve dvou provedeních a to buď jako kuplovna nebo tzv. šikmá pec (obr. 4.6).

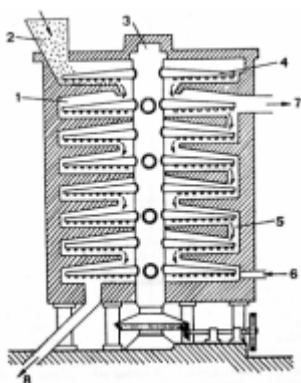


1-spalovací komora, 2-dohořivací komora, 3-  
spalovací rošt, 4-vynášecí rošt, 5-  
horkovzdušná komora, 6-hořák, 7-ventilátor,  
8-dveře, 10-kouřová klapka

Obr. 4.6 Šikmá pec [7]

#### • Etážové pece

Etážové pece jsou obdobou pražicích pecí používaných v chemii a v metalurgii na pražení rud. Tyto pece se nejvíce hodí ke spalování odpadů a kalů s vysokou vlhkostí (obr. 4.7).

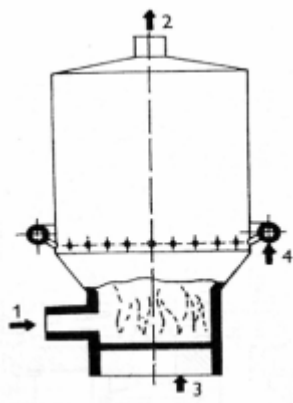


1-patro, 2-násypka, 3-hřídél, 4-ramena, 5-přepadové otvory, 6-přívod vzduchu, 7-odvod spalin, 8-odvod nespalitelných zbytků

Obr. 4.7 Etážová pec [4]

### • Fluidní pece

Toto zařízení je vhodné pro spalování jak pevných, tak kapalných materiálů. Při spalování pevných odpadů nastává problém s různou zrnitostí odpadů, proto je nutno odpady drtit. A v případě spalování kapalných odpadů je nutné vytvořit fluidní vrstvu z vhodného drobnozrnného materiálu jako je uhlí, keramická drť nebo písek. Princip tohoto zařízení je založen na vhánění spalovacího vzduchu zespodu velkou rychlostí do vrstvy zrnitého materiálu, čímž dojde k nadnášení a zvěření jednotlivých zrn (vytvoří se fluidní vrstva), zvětšení reakčního povrchu a velmi intenzivnímu průběhu spalovacího procesu v celé vrstvě (obr. 4.8).



1-přívod odpadu, 2-odvod spalin, 3-přívod primárního vzduchu, 4-přívod sekundárního vzduchu

Obr. 4.8 Fluidní pec na spalování odpadů [4]

### 4.1.5. Výhody a nevýhody spalování odpadů

#### Výhody spalování odpadů

- rychlý a efektivní proces (na rozdíl od ostatních metod zpracování odpadu)
- zmenšení objemu (až o 80-90%) a částečně i hmotnosti zpracovávaného odpadu
- vznik stabilního a sterilního produktu, který nepodléhá dalšímu rozkladu a lze ho po úpravě použít jako součást stavebního materiálu nebo při rekultivaci skládek
- energetické využití odpadu (výroba horké vody pro topení nebo výroba elektrického proudu z páry či horkých plynů)



- úspora primárních energetických surovin (uhlí, ropa)
- univerzální technologie, kterou lze spalovat většina odpadů
- zabezpečení vyhovující ochrany ovzduší instalací zařízení pro vícestupňové čištění spalin

#### Nevýhody spalování odpadů

- výstavba spalovny je investičně náročná a nejde budovat po etapách
- potřeba kvalifikované obsluhy
- vysoké náklady na provoz a údržbu zařízení
- nutnost svozu odpadu (zvýšení dopravního zatížení kolem spalovny)
- problémy s možností využití vyrobeného tepla
- náročnost procesu čištění spalin
- při spalování odpadu, obsahující chlorované uhlovodíky (př.PVC) a soli (př.NaCl) vznikají vedle běžných součástí spalin ( $\text{SO}_x$ , CO, HCl, HF,  $\text{CO}_2$ , tuhé emise,  $\text{NO}_x$ , organické látky jako C) i organické chlorované a fluorované sloučeniny (PCDD, PCDF, PAH, PCB)
- při spalování odpadu s obsahem popela, smetků apod. vznikají emise toxických kovů (Hg, Cd, Pb, Tl), které jsou obsaženy především v popílku
- potencionálním zdrojem znečištění mohou být i odpadní vody (chlazení škváry) a tuhé zbytky po spalování
- nutnost nakládání s tuhými produkty spalování a v případě odpadu s velkým nespalitelným podílem je velká produkce popela

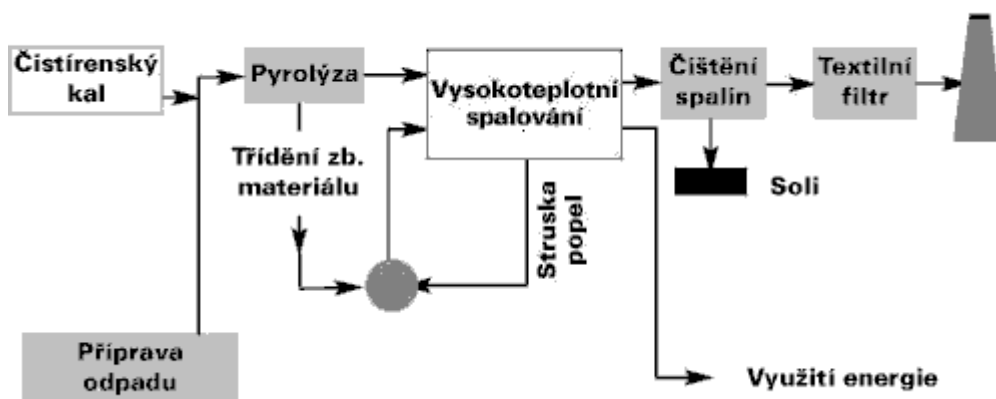
## **4.2. Pyrolýza odpadů**

Pyrolýza odpadů je v dnešní době považována za velmi perspektivní technologii. Pyrolýza nebo-li odplynění je vlastně tepelný rozklad organických materiálů za nepřístupu zplyňovacích médií, jako je kyslík, vzduch, oxid uhličitý nebo vodní pára (obr. 4.11). Probíhá tak, že v rozmezí teplot od  $150^\circ\text{C}$  do  $900^\circ\text{C}$  se uvolní těkavé látky a vysokomolekulární organické látky se rozloží na nízkomolekulární a molekuly s dlouhými řetězci se rozštěpí na kratší[6].

Podle toho jakou teplotu použijeme, rozlišujeme pyrolýzu na:

- Nízkoteplotní pyrolýza, kdy se reakční teploty pohybují pod  $500^\circ\text{C}$ .
- Střednėteplotní pyrolýza, kde se reakční teploty pohybují v rozmezí  $500\text{--}800^\circ\text{C}$ .

- Vysokoteplotní pyrolýza, kdy se reakční teploty pohybují nad 800°C.



Obr. 4.11 Princip pyrolýzy v kombinaci s vysokoteplotním spalováním [14]

#### 4.2.1. Odpady vhodné pro pyrolýzu

Pyrolýzním procesem lze zpracovávat celou řadu organických materiálů a odpadů. Je vhodný pro šaržovitý proces zejména pro zpracování netoxických odpadů. Mezi zpracovávané organické produkty a odpady patří dřevní štěpka, tříděný odpad, staré pneumatiky, gumové odpady, chemický odpad, plastový odpad, usazeniny a kaly z čistíček odpadních vod, nemocniční odpady a další různé odpady.

#### 4.2.2. Princip pyrolýzy odpadů

Pyrolýzu odpadů rozdělujeme do dvou stupňů. V prvním stupni dojde ke zplynění odpadů za nedostatku vzduchu a následovně v druhém stupni je ke vzniklému plynu přiveden kyslík a dojde ke spálení odpadů. Proces pyrolýzy probíhá v pyrolýzní komoře, kde se odpad zahřívá teplem z přídavného paliva. Tato komora má menší objem. Velké množství fungujících pyrolýzních jednotek je také možno vytápět zevně spalinami, které vznikají při spalování pyrolýzních plynů v tzv. termoreaktoru.

Při pyrolýze vzniká tuhá fáze na bázi koksu, kapalná fáze a plynná fáze, která je složena především z vody, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> a jednotlivých organických látek jako CH<sub>4</sub>. Všechny tyto frakce lze dále zpracovávat a využít. Poměr jednotlivých fází je závislý na složení použitého materiálu a dá se ovlivnit samostatným procesem (regulace teploty a tlaku v čase).

#### 4.2.3. Pyrolýzní technologie

Pyrolýzní technologie se v průmyslově vyspělých zemích začaly vyvíjet od 70. let. Mezi nejrozšířenější technologické pyrolýzní procesy patří pyrolýza Babcock a pyrolýzně-spalovací proces KWU-Siemens.

Pyrolýza Babcock není jen pyrolýza, ale je kombinací pyrolýzy a řízeného spalování neupraveného surového plynu. Proces pyrolýzy probíhá v rozmezí teplot 500-600 °C a následné zpracování surového plynu probíhá řízeným spálením, kde teplota dosahuje až 1200 °C. Teplo, které vzniká ze spalin, lze pak využít k ohřevu pyrolýzní pece nebo k výrobě páry.

Pyrolýzně-spalovací proces KWU-Siemens je na první pohled principiálně stejný jako pyrolýza Babcock. Má však řadu konstrukčních odlišností a je ekologičtější.

U nás se používala zařízení Hoval-Schiestl a Vampols pro zneškodňování nemocničních odpadů. Nyní je například ve stádiu testování prototypu pyrolýzní jednotka Pyrotronic, která se nachází v Ostravě.

#### 4.2.4. Výhody a nevýhody pyrolýzy odpadů

##### Výhody pyrolýzy odpadů

- objem plynu k čištění je menší
- energetická nezávislost
- použitím nižší teploty než je teplota tavení anorganických podílů (sklo, kovy, soli) je možno je z popela separovat
- je ekologicky vhodnější než spalování (množství vzniklých plynů je menší), soustřeďuje těžké kovy v tuhém zbytku a snižuje vznik toxických splodin (díky nedostatku kyslíku je omezena tvorba dioxinů a furanů)
- hospodárnější než spalování (výhřevnost je dostatečná pro ohřev pyrolýzní jednotky tak, aby ztráty a spotřeba pece nebyly vyšší než energie získaná z produktů)
- rychlá návratnost vložených nákladů
- objem vody z praní spalin je menší
- produktem pyrolýzního procesu je vždy plyn, kapalná fáze a tuhý uhlíkatý zbytek, které lze dále zpracovávat a využít (pyrolýzní plyn je složen z CH<sub>4</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> -CH<sub>4</sub> lze využít v energetice, H<sub>2</sub> ve vodíkové technologii a CO<sub>2</sub> v potravinářství,

pyrolýzní olej lze zpracovávat v chemickém průmyslu a tuhý zbytek lze použít jako inertní stavební materiál)

- produkce tepelné či elektrické energie

#### Nevýhody pyrolýzy odpadů

- pyrolýza je nákladnější než spalování, pokud jsou pyrolýzní produkty dále spalovány
- některé organické sloučeniny mohou být nebezpečné lidem a životnímu prostředí (HCl, HF, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, dehet, olej)
- problematické využití tepelné či elektrické energie
- pevný produkt, který vznikne při pyrolýze je v některých zemích považován za problémový a jeho ukládání na skládky je bez předchozí úpravy zakázáno
- pyrolýza má v ČR spíše laboratorní charakter nebo je provozována v poloprovozech
- stejně jako spalování je pyrolýza investičně náročná a je potřeba kvalifikované obsluhy (potřeba dotací)

### **4.3. Zplyňování odpadů**

Stejně jako pyrolýza je zplyňování odpadů považováno za perspektivní technologii 21. století, je to moderní technologie likvidace odpadů.

#### **4.3.1. Odpady vhodné ke zplyňování**

Zplyňovacím procesem lze stejně jako pyrolýzou zpracovávat celou řadu organických materiálů a odpadů. Pro zplyňování se nejvíce hodí vytríděné frakce tuhého komunálního odpadu, kaly z čistíren odpadních vod, staré oleje, staré pneumatiky, směsné plastové odpady či odpady z lesnictví a zemědělství.

#### **4.3.2. Princip zplyňování odpadů**

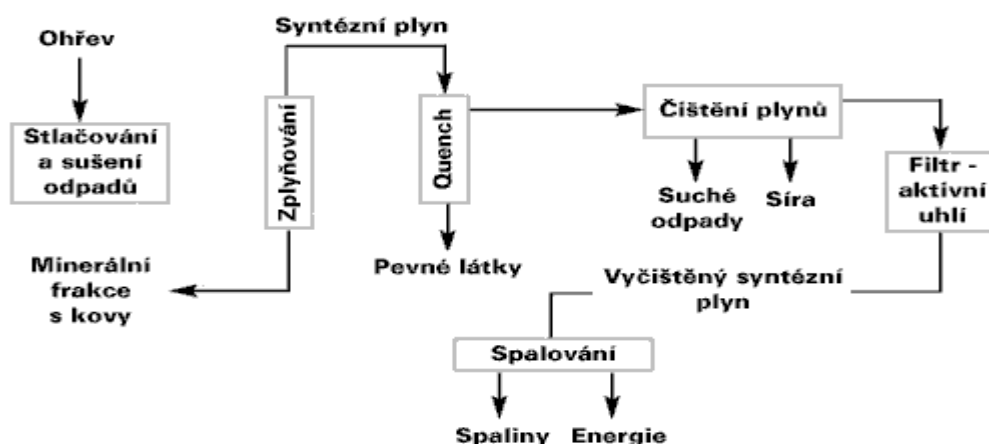
Zplyňování odpadů je vlastně přeměna uhlíkatých materiálů na plynná hořlavá paliva požadovaného složení. Zplyňování na rozdíl od pyrolýzy probíhá v přítomnosti reaktivních plynů (vodní pára, O<sub>2</sub>, vzduch), které umožní další přeměnu vzniklého koksovitého zbytku na plynné produkty. Tento proces probíhá při teplotách nad 800 °C, kdy dochází k oxidaci vzniklého pyrolýzního koksu podstechiometrickým množstvím kyslíku. Zplyňováním odpadů vznikají tři složky, a to syntézní plyn, tuhá fáze a kapalná fáze. Hlavním produktem je syntézní plyn, který může být následně spalován. Syntézní

plyn je především složen z oxidu uhelnatého a vodíku (až 85%), oxidu uhličitého, dusíku, metanu a jiných různých uhlovodíkových plynů. Tento plyn má dostatečnou výhřevnost, takže ho můžeme použít jako topné palivo k výrobě elektrické energie či páry nebo jako základní chemická suroviny v petrochemickém a rafinérském odvětví. Dalším produktem může být vodík pro použití v palivových článcích. Výhřevnost syntézního plynu samozřejmě závisí na složení vstupního odpadu. Výhodou této technologie je díky vysokým teplotám neexistence vzniku vysoce toxických dioxinů, furanů a polycyklických aromatických uhlovodíků. Vniklá popelovina se pak taví a chladí ve vodní lázni. Vzniká pak jemný sklovitý granulát, který je vhodný použít ve stavebnictví.

#### 4.3.3. Zplyňovací technologie

Zplyňování odpadů se nejčastěji provádí na zplyňovacím reaktoru HTV (Hoch-Temperatur-Vergasung) od firmy Voest-Alpine nebo na zařízeních od firmy Termoselect (obr. 4.12).

Zplyňováním pomocí reaktoru HTV lze zpracovávat celou řadu odpadů. Reaktor je složen ze speciální zplyňovací komory, která má na dolní části vodní granulační lázeň a vynášecí zařízení pro odtah granulové sklovité strusky. Do zplyňovací komory vedou dvě svislé paralelní šachty a naproti nim se nachází speciální kombinovaný hořák. Tento hořák je určen ke spalování vlastního nebo cizího plynu, oleje jako podpůrného paliva nebo rozličných kapalných odpadů. Vstupní suroviny jsou drceny a dávkovány šnekem. Zplyňování probíhá v reakční komoře, kde teplota může dosahovat až 1600°C. Vysoké teploty jsou spolehlivé pro rozštěpení veškerých organických látek včetně metanu až na CO a H<sub>2</sub>.



Obr. 4.12 Princip zplyňování v kombinaci se spalováním [14]

#### **4.3.4. Výhody a nevýhody zplyňování odpadů**

##### Výhody zplyňování odpadů

- vznik méně emisí než při spalování (menší investice na čištění plynů)
- vznikající syntézní plyn je vyčištěn a dále využíván a zpracováván (lze ho využít jako pohon spalovací turbíny, spalovacího kotle, parní turbíny, motorů, metan lze využít v energetice a vodík v palivových článcích)
- výroba tepelné a elektrické energie
- produkovaná struska lze využít jako inertní stavební materiál
- oproti spalovnám může zpracovávat směsné odpady
- při vysokoteplotním zplyňování neexistence vzniku vysoce toxických dioxinů, furanů a polycyklických aromatických uhlovodíků

##### Nevýhody zplyňování odpadů

- v současné době je ekonomicky únosné zplyňování pouze u vybraných druhů odpadů
- vysoké nároky kladené na kvalitu produkovaného plynu popřípadě na jeho vyčištění
- celkový energetický efekt systému závisí na energetickém obsahu odpadů
- produkce nebezpečných látek jako HCl, HF, SO<sub>2</sub>, těžkých kovů
- nutnost čištění spalin stejně jako u pyrolýzy a spalování
- v ČR je zplyňování odpadů ve fázi laboratorního charakteru či poloprovozu stejně jako pyrolýza odpadů
- vysoké investiční náklady (nutnost dotací)

#### **4.4. Zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých metod**

Spalování, pyrolýza a zplyňování jsou metody, jejichž hlavním cílem je redukce množství odpadu a získání inertního materiálu, který svými vlastnostmi nebude nadále ohrožovat okolí. Inertní tuhý materiál lze ze všech metod využít, a to buď ve stavebnictví nebo pro rekultivační účely. Dalším pozitivem u všech tří metod je energetické využívání odpadů, a to buď výroby horké vody pro topení nebo výroba elektrického proudu z páry či horkých plynů, někdy je však potíž tyto energie vůbec užít.

Ve všech provozech je potřeba kvalifikované obsluhy a jsou nutné určité náklady na provoz a údržbu zařízení, což se může jevit jako určitá nevýhoda. Další nevýhoda těchto zařízení je, že výstavba je velice investičně náročná a někdy nemusí být vůbec povolena.

Spalování, pyrolýza a zplyňování produkují určité výstupní látky. U spalování je to struska, popílek, spaliny a odpadní voda. Spaliny jsou u spalování největším problémem. Jsou složeny z nebezpečných látek jako  $\text{SO}_x$ , CO, HCl, HF,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  a tuhých emisí a vedle těchto látek se produkují i toxické látky typu POPs, které mají karcinogenní vlastnosti. Pyrolýzou vzniká pyrolýzní plyn, dehet, odpadní voda a pyrolýzní koks. Pyrolýzní plyn můžeme dále spalovat a tím produkovat emise stejně jako u spalování nebo ho dále využívat a zpracovávat (metan lze využít v energetice, vodík ve vodíkové technologii). Zplyňování je na tom stejně jako pyrolýza, vznikají také tři fáze, a to syntézní plyn, dehet, popel a struska. Syntézní plyn můžeme také spalovat a produkovat nebezpečné látky nebo ho můžeme dále využívat a zpracovávat (např. jako pohon spalovací turbíny nebo metan v energetice). Výhodou pyrolýzy a zplyňování je, že neprodukují látky typu POPs. Tyto dvě metody také produkují méně emisí, a tím jsou i sníženy náklady na čištění spalin a je zapotřebí méně vody pro praní spalin.

Dá se říci, že nejvíce je v České republice rozšířeno spalování, které tu funguje už od začátku 20. století. Naproti tomu pyrolýza a zplyňování se začalo rozvíjet až od 70. let a v dnešní době má spíše laboratorní charakter nebo je provozováno v poloprovozech.

## **5. Výpočet základních spalovacích výpočtů komunálního odpadu**

Pro správné pochopení systému se výpočet provedl pro komunální odpad o třech různých složeních (složení komunálního odpadu je převzato z literatury [7]). Složení komunálního odpadu je uvedeno v tabulce č. 5.1. Parametry pro výpočet a použité rovnice jsou použity z literatury [18], [7]. Tyto parametry jsou uvedeny v tabulce č. 5.2.

Vzorek	1	2	3
$W^r$	21,8%	11,7%	13%
$C^r$	21,7%	26%	30%
$H_2^r$	2,5%	2,5%	3,5%
$O_2^r$	15,6%	17%	20%
$N_2^r$	0,2%	0,2%	0,4%
$S^r$	0,6%	5%	6%
$A^r$	37,6%	37,6%	27,1%

Tab. č. 5.1 Složení komunálního odpadu

Název	Veličina	Hodnota	Jednotka
Hmotnostní tok	$\dot{m}$	100	[kg/hod]
Součinitel přebytku vzduchu	$n$	1,5	[1]
Součinitel zvětšení objemu spalín vzdušnou vlhkostí přivedením spalovacího vzduchu	$v$	1,05	[1]
Hmotnostní tok strusky	$\dot{m}_s$	40	[kg/hod]
Měrná tepelná kapacita strusky	$c_s$	0,882	[kJ/kg · K]
Měrná tepelná kapacita spalín	$c_{sp}$	1,68	[kJ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> · K]
Teplota strusky	$t_s$	900	[°C]
Zápalná teplota odpadu	$t_z$	600	[°C]
Teplota spalín	$t_{sp}$	850	[°C]
Ztrátový tepelný tok do okolí	$\dot{Q}_z$	5	[%]

Tab. č. 5.2 Parametry pro výpočet

### 5.1. Výpočet pro komunální odpad o složení č. 1

(složení komunálního odpadu použito z tab. č. 5.1 a parametry výpočtu z tab. č. 5.2)

Stanovení výhřevnosti odpadu podle svazové rovnice

$$Q_i^r = 339 \cdot C^r + 1214 \cdot \left( H_2^r - \frac{O_2^r}{8} \right) + 105 \cdot S^r - 24,5 \cdot W^r \quad [\text{kJ/kg}] \quad (5.1)$$

$$Q_i^r = 339 \cdot 21,7 + 1214 \cdot \left( 2,5 - \frac{15,6}{8} \right) + 105 \cdot 0,6 - 24,5 \cdot 21,8 = 7552,9 [\text{kJ/kg}]$$

Teoretické množství  $O_2$

$$V_{O_2,t} = \frac{22,4}{12} \cdot C^r + \frac{22,4}{32} \cdot S^r + \frac{22,4}{4} \cdot H_2^r - \frac{22,4}{32} \cdot O_2^r \quad [\text{m}^3/\text{kg}] \quad (5.2)$$

$$V_{O_2,t} = \frac{22,4}{12} \cdot 0,217 + \frac{22,4}{32} \cdot 0,006 + \frac{22,4}{4} \cdot 0,025 - \frac{22,4}{32} \cdot 0,156 = 0,4401 [\text{m}^3/\text{kg}]$$



Teoretické množství suchého vzduchu

$$V_{VZ,t}^S = \frac{V_{O_2,t}}{0,21} \quad [m_N^3/kg] \quad (5.3)$$

$$V_{VZ,t}^S = \frac{0,4401}{0,21} = 2,0957[m_N^3/kg]$$

Skutečné množství suchého vzduchu

$$V_{VZ,SK}^S = V_{VZ,t}^S \cdot n \quad [m_N^3/kg] \quad (5.4)$$

$$V_{VZ,SK}^S = 2,0957 \cdot 1,5 = 3,1436[m_N^3/kg]$$

Skutečné množství vlhkého vzduchu

$$V_{VZ,SK}^V = V_{VZ,SK}^S \cdot v \quad [m_N^3/kg] \quad (5.5)$$

$$V_{VZ,SK}^V = 3,1436 \cdot 1,05 = 3,3007[m_N^3/kg]$$

Teoretické množství suchých spalin

$$V_{SP,t}^S = \frac{22,4}{12} \cdot C^r + \frac{22,4}{32} \cdot S^r + \frac{22,4}{28} \cdot N_2^r + 0,79 \cdot V_{VZ,t}^S \quad [m_N^3/kg] \quad (5.6)$$

$$V_{SP,t}^S = \frac{22,4}{12} \cdot 0,217 + \frac{22,4}{32} \cdot 0,006 + \frac{22,4}{28} \cdot 0,002 + 0,79 \cdot 2,0957 = 2,0665[m_N^3/kg]$$

Skutečné množství suchých spalin

$$V_{SP,SK}^S = V_{SP,t}^S + (n - 1) \cdot V_{VZ,t}^S \quad [m_N^3/kg] \quad (5.7)$$

$$V_{SP,SK}^S = 2,0665 + (1,5 - 1) \cdot 2,0957 = 3,1144[m_N^3/kg]$$

Objem vodní páry ve spalinách

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot H_2^r + \frac{22,4}{18} \cdot W^r + (v - 1) \cdot V_{VZ,t}^S \quad [m_N^3/kg] \quad (5.8)$$

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot 0,025 + \frac{22,4}{18} \cdot 0,218 + (1,05 - 1) \cdot 2,0957 = 0,6561[m_N^3/kg]$$

Skutečné množství vlhkých spalin

$$V_{SP,SK}^V = V_{SP,SK}^S + V_{H_2O} \quad [m_N^3/kg] \quad (5.9)$$

$$V_{SP,SK}^V = 3,1144 + 0,6561 = 3,7705[m_N^3/kg]$$

Množství spalin z odpadu při hmotnostním toku 100 kg / hod

$$\dot{V}_{SP,ODPAD} = V_{SP,SK}^V \cdot \dot{m} \quad [m_N^3/hod]; [m_N^3/s] \quad (5.10)$$

$$\dot{V}_{SP,ODPAD} = 3,7705 \cdot 100 = 377,05 [m_N^3/hod] \rightarrow 0,105[m_N^3/s]$$

Skutečné množství spalin v rotační peci při teplotě  $t_1=900^\circ\text{C}$ 

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_n \cdot V_n}{T_n} \rightarrow \frac{\dot{V}_{SP1}}{T_1} = \frac{\dot{V}_{SP,ODPAD}}{T_n} \rightarrow \dot{V}_{SP1} = \frac{t_1 + 273,15}{273,15} \cdot \dot{V}_{SP,ODPAD} [m^3/s] \quad (5.11)$$

$$\dot{V}_{SP1} = \frac{900 + 273,15}{273,15} \cdot 0,105 = 0,451[m^3/s]$$

Skutečné množství spalin v dohořivací komoře při teplotě  $t_2=850^\circ\text{C}$ 

$$\frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \frac{p_n \cdot V_n}{T_n} \rightarrow \frac{\dot{V}_{SP2}}{T_2} = \frac{\dot{V}_{SP,ODPAD}}{T_n} \rightarrow \dot{V}_{SP2} = \frac{t_2 + 273,15}{273,15} \cdot \dot{V}_{SP,ODPAD} [m^3/s] \quad (5.12)$$

$$\dot{V}_{SP2} = \frac{850 + 273,15}{273,15} \cdot 0,105 = 0,432[m^3/s]$$

Tepelný tok odpad

$$\dot{Q}_{\text{odpadu}} = \frac{\dot{m}}{3600} \cdot Q_i^r \quad [\text{kW}] \quad (5.13)$$

$$\dot{Q}_{\text{odpadu}} = \frac{100}{3600} \cdot 7552,9 = 209,8 [\text{kW}]$$

Ztrátový tepelný tok teplem tuhých zbytků po spalování

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_s \cdot c_s \cdot (t_s - t_z) \cdot \frac{1}{3600} \quad [\text{kW}] \quad (5.14)$$

$$\dot{Q}_s = 40 \cdot 0,882 \cdot (900 - 600) \cdot \frac{1}{3600} = 2,94 [\text{kW}]$$

Ztrátový tepelný tok spalinami

$$\dot{Q}_{\text{sp}} = \dot{V}_{\text{SP,ODPAD}} \cdot t_{\text{sp}} \cdot c_{\text{sp}} \cdot \frac{1}{3600} \quad [\text{kW}] \quad (5.15)$$

$$\dot{Q}_{\text{sp}} = 377,05 \cdot 850 \cdot 1,68 \cdot \frac{1}{3600} = 149,6 [\text{kW}]$$

Tepelný výkon spalovacího zařízení

$$P = \dot{Q}_{\text{odpadu}} - \dot{Q}_s - \dot{Q}_{\text{sp}} - \dot{Q}_z \quad [\text{kW}] \quad (5.16)$$

$$P = 209,8 - 2,94 - 149,6 - 10,49 = 46,8 [\text{kW}]$$

**5.2. Výpočet pro komunální odpad o složení č. 2**

(složení komunálního odpadu použito z tab. č. 5.1 a parametry výpočtu z tab. č. 5.2)

Stanovení výhřevnosti odpadu podle svazové rovnice

Výpočet dle rovnice 5.1

$$Q_i^r = 339 \cdot 26 + 1214 \cdot \left(2,5 - \frac{17}{8}\right) + 105 \cdot 5 - 24,5 \cdot 11,7 = 9497,07 [\text{kJ} / \text{kg}]$$

Teoretické množství  $\text{O}_2$ 

Výpočet dle rovnice 5.2.

$$V_{\text{O}_2, \text{t}} = \frac{22,4}{12} \cdot 0,26 + \frac{22,4}{32} \cdot 0,05 + \frac{22,4}{4} \cdot 0,025 - \frac{22,4}{32} \cdot 0,17 = 0,5413 [\text{m}_N^3 / \text{kg}]$$

Teoretické množství suchého vzduchu

Výpočet dle rovnice 5.3.

$$V_{\text{VZ, t}}^S = \frac{0,5413}{0,21} = 2,58 [\text{m}_N^3 / \text{kg}]$$

Skutečné množství suchého vzduchu

Výpočet dle rovnice 5.4.

$$V_{\text{VZ, SK}}^S = 2,58 \cdot 1,5 = 3,867 [\text{m}_N^3 / \text{kg}]$$

Skutečné množství vlhkého vzduchu

Výpočet dle rovnice 5.5.

$$V_{\text{VZ, SK}}^V = 3,867 \cdot 1,05 = 4,06 [\text{m}_N^3 / \text{kg}]$$

Teoretické množství suchých spalin

Výpočet dle rovnice 5.6.

$$V_{SP,t}^S = \frac{22,4}{12} \cdot 0,26 + \frac{22,4}{32} \cdot 0,05 + \frac{22,4}{28} \cdot 0,002 + 0,79 \cdot 2,58 = 2,56[\text{m}_N^3/\text{kg}]$$

Skutečné množství suchých spalin

Výpočet dle rovnice 5.7.

$$V_{SP,SK}^S = 2,56 + (1,5 - 1) \cdot 2,58 = 3,85[\text{m}_N^3/\text{kg}]$$

Objem vodní páry ve spalinách

Výpočet dle rovnice 5.8.

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot 0,025 + \frac{22,4}{18} \cdot 0,117 + (1,05 - 1) \cdot 2,58 = 0,5546[\text{m}_N^3/\text{kg}]$$

Skutečné množství vlhkých spalin

Výpočet dle rovnice 5.9.

$$V_{SP,SK}^V = 3,85 + 0,5546 = 4,4046[\text{m}_N^3/\text{kg}]$$

Množství spalin z odpadu při hmotnostním toku 100 kg / hod

Výpočet dle rovnice 5.10.

$$\dot{V}_{SP,ODPAD} = 4,4046 \cdot 100 = 440,46[\text{m}_N^3 / \text{hod}] \rightarrow 0,1224[\text{m}_N^3/\text{s}]$$

Skutečné množství spalin v rotační peci při teplotě  $t_1=900^\circ\text{C}$

Výpočet dle rovnice 5.11.

$$\dot{V}_{SP1} = \frac{900+273,15}{273,15} \cdot 0,1224 = 0,5257[\text{m}^3/\text{s}]$$

Skutečné množství spalin v dohořivací komoře při teplotě  $t_2=850^\circ\text{C}$

Výpočet dle rovnice 5.12.

$$\dot{V}_{SP2} = \frac{850+273,15}{273,15} \cdot 0,1224 = 0,5033[\text{m}^3/\text{s}]$$

Tepelný tok odpadu

Výpočet dle rovnice 5.13.

$$\dot{Q}_{odpadu} = \frac{100}{3600} \cdot 9497,07 = 263,8[\text{kW}]$$

Ztrátový tepelný tok teplem tuhých zbytků po spalování

Výpočet dle rovnice 5.14.

$$\dot{Q}_s = 40 \cdot 0,882 \cdot (900 - 600) \cdot \frac{1}{3600} = 2,94[\text{kW}]$$

Ztrátový tepelný tok spalinami

Výpočet dle rovnice 5.15.

$$\dot{Q}_{sp} = 440,46 \cdot 850 \cdot 1,68 \cdot \frac{1}{3600} = 174,74[\text{kW}]$$

Tepelný výkon spalovacího zařízení

Výpočet dle rovnice 5.16.

$$P = 263,8 - 2,94 - 174,74 - 13,19 = 72,97[\text{kW}]$$

### 5.3. Výpočet pro komunální odpad o složení č. 3

(složení komunálního odpadu použito z tab. č. 5.1 a parametry výpočtu z tab. č. 5.2)

Stanovení výhřevnosti odpadu podle svazové rovnice

Výpočet dle rovnice 5.1.

$$Q_i^r = 339 \cdot 30 + 1214 \cdot \left(3,5 - \frac{20}{8}\right) + 105 \cdot 6 - 24,5 \cdot 13 = 11695,5 [\text{kJ/kg}]$$

Teoretické množství  $O_2$

Výpočet dle rovnice 5.2.

$$V_{O_2,t} = \frac{22,4}{12} \cdot 0,3 + \frac{22,4}{32} \cdot 0,06 + \frac{22,4}{4} \cdot 0,035 - \frac{22,4}{32} \cdot 0,2 = 0,658 [\text{m}_N^3/\text{kg}]$$

Teoretické množství suchého vzduchu

Výpočet dle rovnice 5.3.

$$V_{VZ,t}^S = \frac{0,658}{0,21} = 3,135 [\text{m}_N^3/\text{kg}]$$

Skutečné množství suchého vzduchu

Výpočet dle rovnice 5.4.

$$V_{VZ,SK}^S = 3,135 \cdot 1,5 = 4,7 [\text{m}_N^3/\text{kg}]$$

Skutečné množství vlhkého vzduchu

Výpočet dle rovnice 5.5.

$$V_{VZ,SK}^V = 4,7 \cdot 1,05 = 4,935 [\text{m}_N^3/\text{kg}]$$

Teoretické množství suchých spalin

Výpočet dle rovnice 5.6.

$$V_{SP,t}^S = \frac{22,4}{12} \cdot 0,3 + \frac{22,4}{32} \cdot 0,06 + \frac{22,4}{28} \cdot 0,004 + 0,79 \cdot 3,133 = 3,08 [\text{m}_N^3/\text{kg}]$$

Skutečné množství suchých spalin

Výpočet dle rovnice 5.7.

$$V_{SP,SK}^S = 3,08 + (1,5 - 1) \cdot 3,133 = 4,6465 [\text{m}_N^3/\text{kg}]$$

Objem vodní páry ve spalinách

Výpočet dle rovnice 5.8.

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot 0,035 + \frac{22,4}{18} \cdot 0,13 + (1,05 - 1) \cdot 3,133 = 0,7104 [\text{m}_N^3/\text{kg}]$$

Skutečné množství vlhkých spalin

Výpočet dle rovnice 5.9.

$$V_{SP,SK}^V = 4,6465 + 0,7104 = 5,3569 [\text{m}_N^3/\text{kg}]$$

Množství spalin z odpadu při hmotnostním toku 100 kg / hod

Výpočet dle rovnice 5.10.

$$\dot{V}_{SP,ODPAD} = 5,3569 \cdot 100 = 535,69 [\text{m}_N^3 / \text{hod}] \rightarrow 0,1488 [\text{m}_N^3/\text{s}]$$

Skutečné množství spalin v rotační peci při teplotě  $t_1=900^\circ\text{C}$ 

Výpočet dle rovnice 5.11.

$$\dot{V}_{SP1} = \frac{900+273,15}{273,15} \cdot 0,1488 = 0,6391[\text{m}^3/\text{s}]$$

Skutečné množství spalin v dohořivací komoře při teplotě  $t_2=850^\circ\text{C}$ 

Výpočet dle rovnice 5.12.

$$\dot{V}_{SP2} = \frac{850+273,15}{273,15} \cdot 0,1488 = 0,612[\text{m}^3/\text{s}]$$

Tepelný tok odpadu

Výpočet dle rovnice 5.13.

$$\dot{Q}_{\text{odpadu}} = \frac{100}{3600} \cdot 11695,5 = 324,9[\text{kW}]$$

Ztrátový tepelný tok teplem tuhých zbytků po spalování

Výpočet dle rovnice 5.14.

$$\dot{Q}_s = 40 \cdot 0,882 \cdot (900 - 600) \cdot \frac{1}{3600} = 2,94 [\text{kW}]$$

Ztrátový tepelný tok spalinami

Výpočet dle rovnice 5.15.

$$\dot{Q}_{sp} = 535,69 \cdot 850 \cdot 1,68 \cdot \frac{1}{3600} = 212,5[\text{kW}]$$

Tepelný výkon spalovacího zařízení

Výpočet dle rovnice 5.16.

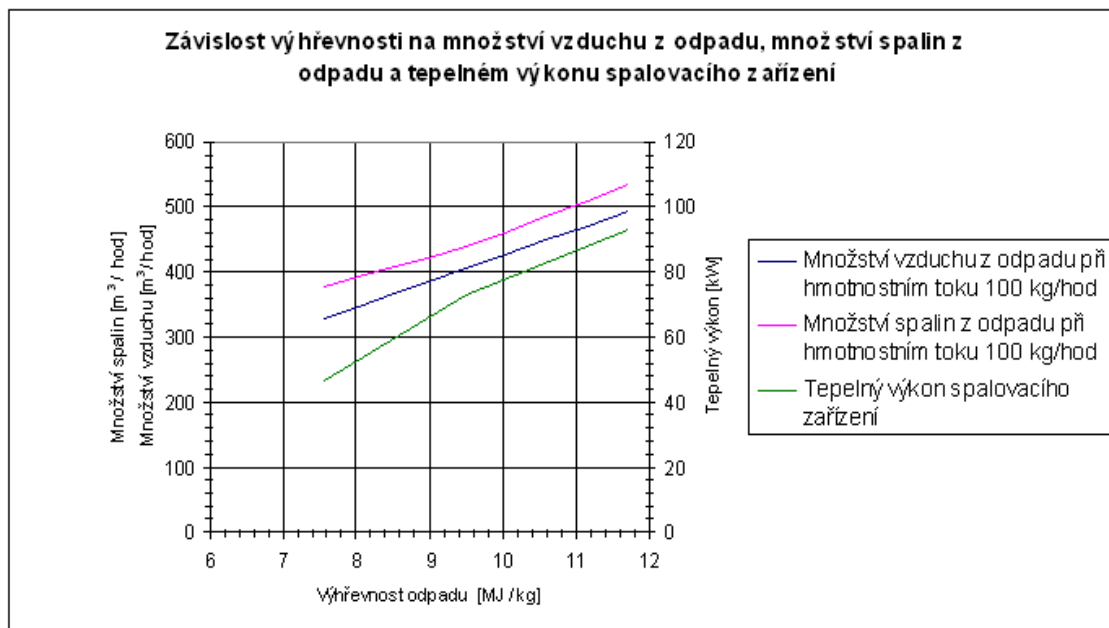
$$P = 324,9 - 2,94 - 212,5 - 16,245 = 93,22[\text{kW}]$$

**5.4. Zhodnocení výpočtů**

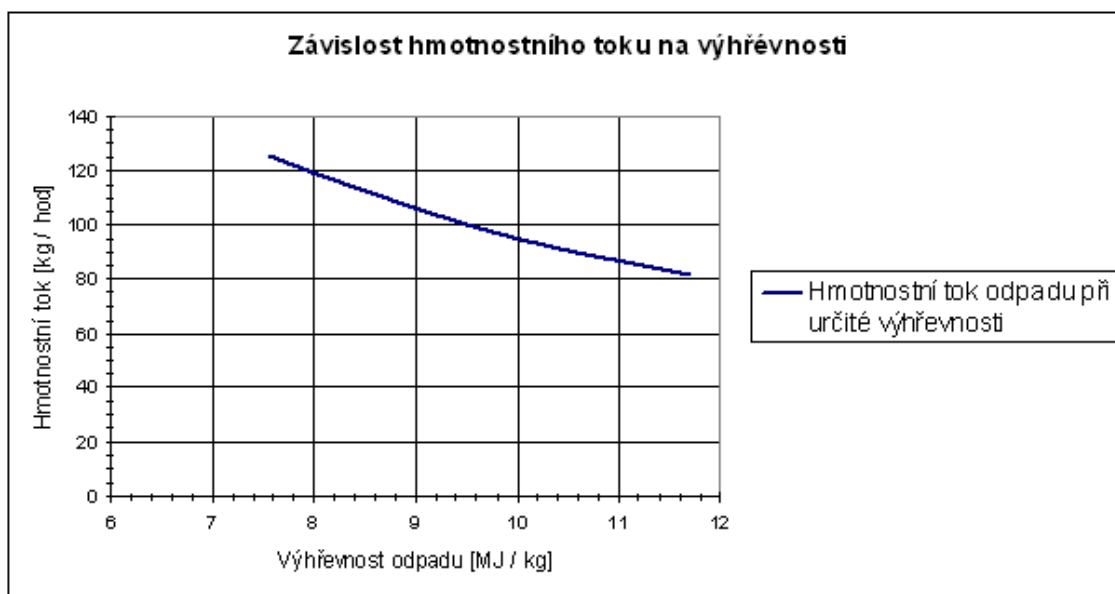
Tabulka hodnot závislosti výhřevnosti na množství spalin z odpadu, množství vzduchu z odpadu a tepelném výkonu spalovacího zařízení

Výhřevnost	$\dot{V}_{VZ,ODPAD} [\text{m}_N^3/\text{hod}]$	$\dot{V}_{SP,ODPAD} [\text{m}_N^3/\text{hod}]$	P [kW]
$Q_{i,1}^F$	330,07	377,05	46,8
$Q_{i,2}^F$	406	440,46	72,97
$Q_{i,3}^F$	493,5	535,69	93,22

Graf závislosti výhřevnosti na množství spalín z odpadu, množství vzduchu z odpadu a tepelném výkonu spalovacího zařízení



Graf závislosti hmotnostního toku odpadu na výhřevnosti při  $P=72,97$  kW



## 6. Závěr

Závěrem chci říci, že termicky zpracovávat odpad je lepší variantou než tento odpad skládkovat a zahlcovat tím naše okolí. Ale na druhou stranu by spalování zase nemělo být upřednostňováno nad recyklací, ale tyto dvě metody by se měli navzájem doplňovat. Vím, že spalování ekologicky nevýhodnou metodou ale podle studií je zřejmé, že emise vyprodukované spalovnami, s výjimkou rtuti a kadmia, představují jen malou část ze všech emisí vypouštěných z elektráren, průmyslových podniků, dopravních prostředků a lokálních vytápěcích zařízení. A do budoucna je jisté, že se zařízení na spalování budou vyvíjet a emise unikající do ovzduší budou minimální. Je jen na nás, jak se situace ohledně spalování bude vyvíjet, a my spalování odpadů budeme akceptovat nebo ho zavrhneme a do budoucna bude naše planeta zahlcena odpadem.

## 7. Použitá literatura

1. JUCHELKOVÁ J., FIBINGER V., MÍKA M.: *Metody nakládání s odpady*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, FS.1996, s.62. ISBN 80-7078-309-5.
2. HLAVATÁ M.: *Odpadové hospodářství*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, HGF.2004, s.174. ISBN 80-248-0737-8.
3. JUCHELKOVÁ D.: *Likvidace a využití odpadů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, FS.2000, s.76. ISBN 80-7078-747-3.
4. KURAŠ M.: *Odpady, jejich využití a zneškodňování*. VŠCHT Praha.1994, s.243. ISBN 80-85087-32-4.
5. <[www.euractiv.cz/energetika/clanek/unie-dala-zelenou-spalovani-odpadu-v-elektrarnach](http://www.euractiv.cz/energetika/clanek/unie-dala-zelenou-spalovani-odpadu-v-elektrarnach)> *Unie dala zelenou spalování odpadu*. (česky)
6. JUCHELKOVÁ D., RACLAVSKÁ H. a kol.: *Odpady a jejich místo v lidském životě*. Ostrava VŠB-TU Ostrava, 2004, s.90. ISBN 80-248-0649-5.
7. OBROUČKA K.: *Termické zneškodňování odpadů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, FMML.1997, s.144. ISBN 80-7078-505-5.
8. <[www.sako.cz](http://www.sako.cz)> *Spalovna Sako Brno a.s.* (česky)
9. <<http://www.odpadjeenergie.cz/fakta/cr-a-evropa/default.aspx>> *Odpad je energie*. (česky)
10. <<http://download.mpo.cz/get/34085/38234/438586/priloha001.doc>> *Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů za rok 2006*. (česky)
11. <[http://www.enviwiki.cz/wiki/Komun%C3%A1ln%C3%AD\\_odpad](http://www.enviwiki.cz/wiki/Komun%C3%A1ln%C3%AD_odpad)> *Alternativní palivo*. (česky)
12. <[http://www.enviwiki.cz/wiki/Spalovna\\_odpad%C5%AF](http://www.enviwiki.cz/wiki/Spalovna_odpad%C5%AF)> *Spalovna odpadů*. (česky)
13. <[http://www.sfzp.cz/soubor-ke-stazeni/9/2819-druhe\\_hodnoceni\\_plneni\\_narizeni\\_vlady\\_mzp.pdf](http://www.sfzp.cz/soubor-ke-stazeni/9/2819-druhe_hodnoceni_plneni_narizeni_vlady_mzp.pdf)> *Druhé hodnocení plnění nařízení vlády 2005-2006*. (česky)



14. <[http://www.enviweb.cz/?env=odpady\\_archiv\\_fiiah\\_en](http://www.enviweb.cz/?env=odpady_archiv_fiiah_en)> *Jsou alternativní technologie alternativami?* (česky)
15. STRAKA F.: *Metody likvidace tuhých odpadů*. CA.. Publishing Praha, s.237. ISBN 80-85122-07-3.
16. ŠŤASTNÁ J.: Pyrolýzní jednotka pro plasty už není jen teorií, *Odpady*, 6, 2008, s.7
17. HYŽÍK J.: Energetická účinnost spaloven a rámcová směrnice o odpadech, *Odpadové fórum*, 10, 2008, s.9
18. HORÁK J.: *Základy spalování* (přednášky). Ostrava: VŠB-TU Ostrava, letní semestr 2008.